Gouvernement du Canada
Service canadien des forêts

Government of Canada
Canadian Forestry Service

Croissance, survie et forme de la tige, à 22 ans, d'épinettes de Norvège soumises à un test de descendance

M.N. Coleman, T.C. Nieman et T.J.B. Boyle

Rapport d'information PI-X-73F
Institut forestier national de Petawawa

88-007 23,

INSTITUT FORESTIER NATIONAL DE PETAWAWA

Le mandat de l'Institut forestier national de Petawawa, comme celui des autres établissements du Service canadien des forêts, est de promouvoir une meilleure gestion et une utilisation plus rationnelle des ressources forestières du Canada, pour le bien économique et social de tous les Canadiens. Les objectifs des activités des programmes menés à l'institut appuient ce mandat à travers la découverte, le développement, la démonstration, l'application et le transfert des innovations. En tant qu'institut national, il doit s'attacher à des problèmes qui débordent le cadre régional ou qui nécessistent des compétences particulières de même qu'un équipement non disponible aux installations régionales du Service canadien des forêts. La plupart du temps, ses recherches sont effectuées en étroite collaboration avec le personnel des centres régionaux ou des services forestiers des provinces. Les projets de recherche et les services techniques de l'institut sont regroupés sous six principales activités:

GÉNÉTIQUE FORESTIÈRE ET BIOTECHNOLOGIE - Ce programme encadre des projets sur la génétique forestière, la microbiologie, la micropropagation, la génétique moléculaire et la recherche sur les semences. Il comprend également les services à la clientèle et la banque de semences du Centre national de semences forestières. Ce centre existe depuis longtemps et est lié à plusieurs organismes internationaux.

SYSTÈMES D'AMÉNAGEMENT FORESTIER - Ce programme intègre en recherche et développement, des projets sur les incendies de forêt, la télédétection, la météorologie, la modélisation, la croissance et la récolte, et le RIMA. Il permet ainsi l'élaboration et la démonstration de systèmes d'aménagement forestier.

STATISTIQUES NATIONALES SUR LA RESSOURCE FORESTIÈRE - Communément appelé FORSTATS, ce programme assure la coordination de l'acquisition, de la normalisation et de la publication de statistiques nationales sur les forêts du Canada. Il est aussi chargé de répondre aux demandes de renseignements de la clientèle.

SYSTÈMES DE DONNÉES FORESTIÈRES - Ce programme fournit la compétence et les systèmes informatisés nécessaires à la gestion des données acquises dans le cadre de FORSTATS et des projets de recherche à l'IFNP. Il comprend en outre un service de consultation en informatique pour les hauts fonctionnaires du SCF.

COMMUNICATIONS - Ce programme regroupe les activités de la bibliothèque et des projets touchant la sensibilisation du public, l'information, la rédaction-révision et les publications. L'institut reçoit plus de 20 000 visiteurs chaque année. Le Centre d'accueil, des visites autoguidées et un programme éducatif complet sont ouverts à tous. C'est à l'IFNP que l'on trouve l'entrepôt national de toutes les publications scientifiques du SCF.

LA FORÊT EXPÉRIMENTALE - Outre des peuplements naturels où l'on applique divers traitements dans le cadre de projets de recherche en sylviculture, la Forêt de Petawawa, mesurant 98 km^2, comprend de vastes superficies de plantations âgées de plus de 60 ans. Ces plantations expérimentales permettent d'obtenir des données sur la croissance et la récolte à la suite d'expériences de culture. Elles fournissent du matériel génétique dont le lignage est répertorié, et se révèlent de plus en plus utiles pour les études sur la micropropagation et la génétique moléculaire. La forêt permet également de mettre à l'essai des stratégies d'aménagement forestier à court et à long terme.

CROISSANCE, SURVIE ET FORME DE LA TIGE, À 22 ANS, D'ÉPINETTES DE NORVÈGE SOUMISES À UN TEST DE DESCENDANCE

Rapport d'information PI-X-73F

M.N. Coleman[1], T.C. Nieman et T.J.B Boyle

Institut forestier national de Petawawa
Service canadien des forêts

1987

---

[1]Address actuelle: Victorian School of Forestry, University of Melbourne, Creswick 3363, Victoria, Australie

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 1986
N° de catalogue Fo46-11/73-1987F
ISSN 0228-0736
ISBN 0-662-94455-0

Des exemplaires de cette publication peuvent être obtenus à l'adresse suivante:

Centre d'information technique et de distribution
Institut forestier national de Petawawa
Chalk River (Ontario)
K0J 1J0

N° de téléphone: 613-589-2880

This publication is also available in English under the title **Growth, survival, and stem form of a 22-year-old Norway spruce progeny test.**

Table des matières

v Résumé/Abstract

1 Introduction

2 Matériel et méthodes

5 Résultats

7 Discussion

9 Conclusions

9 Références

Tableaux

2 1. Origine des lots de graines
4 2. Tableau d'analyse de la variance donnant les formules pour le calcul de l'espérance de la moyenne de carrés et de la valeur de F
6 3. Moyennes des groupes (erreurs types entre parenthèses)
6 4. Héritabilité de la hauteur, du diamètre et du rapport hauteur/diamètre

RÉSUMÉ

Les auteurs ont mesuré la hauteur et le diamètre d'épinettes de Norvège (Picea abies [L.] Karst) âgées de 22 ans et soumis à un test de provenance. Les classes des dommages à la forme de la tige dus au charançon (Pissodes strobi) ont été déterminées. Afin d'estimer l'héritabilité de certaines variables, ces données ont ensuite été combinées aux résultats des évaluations antérieures des dégâts causés par la gelure printanière et des ravages provoqués chez les parents par le charançon. Les limites du plan d'expérience ont rendu l'interprétation des données plus difficile, mais l'héritabilité des variables relatives à la croissance correspondait à la plage des valeurs estimées chez d'autres essences de conifères. La régulation génétique de la tolérance aux invasions du charançon semble élevée. Leur vitesse d'accroissement en volume était supérieure à celle des meilleures plantations locales d'épinettes blanches (Picea glauca [Moench] Voss).

ABSTRACT

Measurements of height and diameter, and ratings of weevil (Pissodes strobi) damage to stem form, in a 22-year-old progeny test of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst) were combined with previous assessments of spring frost damage and parental weevil damage to estimate heritabilities for several variables. Limitations of experimental design complicated interpretation, but heritabilities of growth variables were typical of those estimated for other conifer species. Genetic control of tolerance to weevil attack appears to be high. Volume increment exceeded that of the best local white spruce (Picea glauca (Moench) Voss) plantations.

CROISSANCE, SURVIE ET FORME DE LA TIGE, À 22 ANS, D'ÉPINETTES DE NORVÈGE SOUMISES À UN TEST DE DESCENDANCE

INTRODUCTION

L'épinette de Norvège (Picea abies [L.] Karst), espèce indigène en Europe centrale et septentrionale, a beaucoup été utilisée en Amérique du Nord. Dans des conditions favorables, certaines provenances poussent exceptionnellement bien par comparaison à l'épinette blanche locale (Holst, 1955; Teich, 1972; Fowler et Coles, 1979; Fogal et al., 1980; Park et al., 1981; Jokela et al., 1986). Des programmes d'amélioration génétique et de sélection de l'épinette de Norvège ont en conséquence été établis dans diverses régions de l'est du Canada (Corriveau et al., 1986; Lamontagne, 1986; Mullin et Frame, 1986; Rauter et Stubbert, 1986; R. Wasser, comm. pers.). Toutefois, les épinettes de Norvège sont fréquemment très affectées par le gel hivernal, qui entraîne une dessiccation du feuillage, par les gelées printanières, à certains endroits, et par le charançon du pin blanc (Pissodes strobi), qui cause des déformations de la tige.

Physiologiquement, les dommages causés aux cellules végétales par le froid sont dus soit au gel intracellulaire, qui entraîne la rupture de la membrane cellulaire et la mort du tissu, soit au gel intercellulaire, qui provoque la diffusion de l'eau hors des cellules, et, par conséquent, la déshydratation (Siminovitch et al., 1967). Les baisses saisonnières de la température se traduisent par une augmentation de la tolérance au froid des cellules végétales (Siminovitch et al., 1967). Les chutes rapides de température, qui sont associées aux gelées de la fin du printemps ou du début de l'automne, causent un gel intracellulaire dans les nouvelles cellules intolérantes au froid, par exemple dans les bourgeons en croissance et le tissu actif du cambium. Les diminutions lentes de la température produisent, par contre, un gel intercellulaire, et la survie du tissu dépend de sa résistance à la déshydratation. Il existe beaucoup de données indiquant une variation génétique de la résistance à l'hiver et de la tolérance aux gelées (Holzer, 1969; Eriksson et al., 1978; Dormling, 1982) qui serait reliée à des variables de l'environnement comme la latitude et l'altitude des sources de semences et des emplacements d'étude.

Les charançons adultes creusent des tunnels dans la pousse apicale pour s'alimenter et pondre leurs oeufs (Sullivan, 1961). Les dommages ainsi causés peuvent entraîner la mort de la pousse apicale, et une ou plusieurs pousses latérales du verticille situé juste au-dessous prennent alors sa place, donnant, selon le cas, une ou plusieurs pousses apicales. La tolérance aux charançons peut prendre diverses formes: absence d'attaque, tolérance aux dommages à la pousse apicale ou développement d'une pousse latérale en une pousse apicale unique sans perte de vigueur ni déformation de la tige.

Des plantations expérimentales d'épinettes de Norvège, comptant parmi les plus anciennes en Amérique du Nord, ont été établies à l'Institut forestier national de Petawawa (IFNP). Nous présentons ici les résultats d'une expérience visant (1) à comparer la croissance des descendances de différents parents, (2) à étudier les différences de sensibilité au charançon du

pin blanc et (3) à examiner l'effet à long terme des dommages causés par les gelées printanières. Les plantations locales d'épinettes blanches (Picea glauca [Moench] Voss) permettent des comparaisons de la productivité relative des deux espèces.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

En 1924, une plantation de 1500 épinettes de Norvège a été établie par l'Institut forestier national de Petawawa sur une terre agricole abandonnée, connue sous le nom de Hudson's Place. On croit que le matériel utilisé, qui avait été obtenu d'une compagnie papetière du Québec, provenait d'Europe centrale, peut-être bien d'Allemagne. Après un hiver extrêmement dur, en 1933-1934, la plantation a été fortement épurée. La plupart des arbres qui n'étaient pas résistants à l'hiver ont été éliminés, la majorité d'entre eux ayant été tués au-dessus de la limite de la neige par les basses températures. En 1961, il ne restait plus que 29 arbres de la plantation initiale.

En 1963, des graines formées naturellement (pollinisation libre) ont été récoltées sur quatre arbres se trouvant à Hudson's Place et également sur quatre clones du matériel de Hudson's Place. Par ailleurs, on disposait de graines de cinq fratries créées par pollinisation contrôlée en 1962 (tableau 1).

En 1967, le matériel de plantation 2 + 2 issu de ces 13 lots de graines a été divisé en huit groupes en fonction du parent femelle (tableau 1)

Tableau 1. Origines des lots de graines

N° du lot	Origine	Groupe	N^{bre} de plants
S4011-63	S 98 X S 99	I	28
S4012-63	S 98 X S 102	I	90
S4013-63	S 98 poll. libre	I	150
S4022-63	R 98 poll. libre	I	150
S4016-63	S 99 poll. libre	II	150
S4017-63	S 100 X S 109	III	90
S4018-63	S 100 poll. libre	III	150
S4019-63	S 109 X S 100	IV	120
S4020-63	S 109 poll. libre	IV	149
S4021-63	S 122 X S 116	V	15
S4023-63	R 115 poll. libre	VI	30
S4024-63	R 119 poll. libre	VII	24
S4025-63	R 102 poll. libre	VIII	21
			1167

S = Semencier
R = Ramet (greffe) de l'arbre sélectionné

et il a été transplanté à l'IFNP. Au total, 1167 plants ont été plantés à trois répétitions avec un écartement de 1,8 sur 1,8 mètre dans des parcelles de taille variable. La randomisation au sein des blocs a été faite en fonction des groupes (parents); les plants issus de lots de graines appartenant au même groupe ont été plantés dans des parcelles voisines. Sur les huit parents, quatre (numéros 98, 102, 115 et 119) avaient été sélectionnés en 1934 comme étant tout à fait résistants à l'hiver. Trois parents (numéros 100, 109 et 122) avaient été jugés résistants au charançon en 1961; l'arbre numéro 98 avait été estimé légèrement résistant au charançon, et les quatre autres parents avaient été considérés comme non résistants.

En 1972, les plants étant alors âgés de neuf ans (à partir de la graine), les dommages causés par les gelées printanières ont été évalués selon l'échelle suivante:

0: développement tardif ou absence de dommages dus aux gelées

1: pas de dommages à la pousse apicale, <<légers>> dommages aux pousses latérales

2: pas de dommages à la pousse apicale, dommages <<importants>> aux pousses latérales

3: dommages à la pousse apicale uniquement

4: <<légers>> dommages à la pousse apicale et aux pousses latérales

5: dommages <<importants>> à la pousse apicale et aux pousses latérales

En 1986, on a mesuré la hauteur et le diamètre des arbres et évalué la forme de leur tige. On a notamment pris en note la présence ou absence d'une division de la tige à moins de 60 cm de hauteur qui serait attribuable à des dommages à la pousse apicale causés par des gelées survenues lorsque l'arbre était jeune. De tels dommages peuvent entraîner le développement de plus d'une pousse latérale en une pousse apicale. Alors que les dommages dus aux gelées sont plus fréquents chez les jeunes arbres, les attaques graves par les charançons s'observent plus souvent chez les arbres de plus d'un mètre de hauteur. On a évalué les dommages apparents causés par les charançons en utilisant les critères suivants:

Nombre de déformations de la tige	Gravité des déformations
0: aucune déformation	1: excellent rétablissement - déformation négligeable
1, 2 ou 3: une, deux ou trois déformations	2: déformation ≤ diamètre au point où se trouve le dommage
4: quatre déformations ou plus	3: déformation > diamètre au point où se trouve le dommage

À cause du déséquilibre du schéma d'accouplement et de la non-randomisation des familles issues de chaque parent, on a utilisé le modèle suivant pour les analyses de la variance de la hauteur et du diamètre:

$$Y_{ijk} = \mu + rép_i + groupe_j + rép \times groupe_{(ij)} + e_{ijk}$$

où

Y_{ijk} = observation pour la descendance k du groupe j au sein de la répétition

μ = moyenne commune

$rép_i$ = effet de la répétition i

$groupe_j$ = effet du groupe j (c.-à-d. du parent)

$rép \times groupe_{(ij)}$ = effet du groupe j au sein de la répétition i

e_{ijk} = déviation due au milieu et déviation résiduelle d'origine génétique

Un tableau d'analyse de variance (tableau 2) a été construit. Comme le plan d'expérience n'était pas équilibré, on pouvait s'attendre à un effet du groupe dans l'erreur attribuable à la répétition ($b \neq 0$). Toutefois, le déséquilibre était si faible que b a été considéré comme négligeable.

Tableau 2. Tableau d'analyse de la variance donnant les formules pour le calcul de l'espérance de la moyenne de carrés (EMC) et de la valeur de F

Source	dl	EMC	F
Répétition	i-1	$\sigma_e^2 + a\sigma_{rxg}^2 + b\sigma^2 g + c\sigma_r^2$	MC(r)/MC(rxg)
Groupe	j-1	$\sigma_e^2 + d\sigma_{rxg}^2 + f\sigma_g^2$	MC(g)/MC(rxg)
Rép x groupe	(i-1)(j-1)	$\sigma_e^2 + \sigma_{rxg}^2$	MC(rxg)/MC(e)
Erreur	ijk-1	σ_e^2	MC(rxg)/MC(e)

On a calculé les parts de la variance dues à chacun des facteurs suivants: les répétitions (σ_r^2), les groupes (σ_g^2), l'interaction répétition x groupe (σ_{rg}^2) et l'erreur résiduelle intra-parcelle (σ_w^2). On a également estimé les valeurs de l'héritabilité pour la hauteur, le diamètre et le rapport hauteur/diamètre à l'aide des formules suivantes:

héritabilité individuelle: $h_I^2 = k\sigma_g^2 / (\sigma_g^2 + \sigma_{rg}^2 + \sigma_w^2)$

héritabilité familiale: $h_F = \sigma_g^2 / (\sigma_g^2 + \sigma_{rg}^2 / r + \sigma_w^2 / nr)$

où k = constante (voir plus loin)

σ_g^2 = variance due au groupe

σ_{rxg}^2 = variance due à l'interaction rép x groupe

σ_w^2 = variance intra-parcelle

n = moyenne harmonique (= 11,2)

r = nombre de répétitions

Dans le cas de l'héritabilité individuelle (pour un arbre), la constante k est déterminée par la covariance génétique entre les membres des familles ou des groupes (Squillace, 1974). Ce coefficient est de 4 pour les vraies demi-fratries, car σ_g^2 rend compte de $\frac{1}{4}\sigma_A^2$. En raison du nombre fini de parents pollinisateurs, les demi-fratries devraient contenir des individus appartenant à diverses fratries véritables. Par conséquent, une valeur de k inférieure à 4 est ordinairement considérée comme plus réaliste pour les familles créées par pollinisation libre. La valeur de k pour les demi-fratries est égale à la moitié de la variance génétique additive dont rend compte la variance pour le groupe. Si l'on pose k égal à 3,5 pour les familles obtenues par pollinisation libre et à 2,0 pour les fratries, la valeur moyenne de k est déterminée en calculant la proportion des vrais frères dans l'essai:

$$k = 3,5 - (297/959 \times 1,5)$$

$$= 3,04 \approx 3,0$$

Même si k varie entre les groupes, on a jugé peu probable que l'ajustement requis pour rendre compte de cette variation influe de façon importante sur les estimations de l'héritabilité.

RÉSULTATS

Les résultats, résumés pour chaque groupe, pour la hauteur, le diamètre, le rapport hauteur/diamètre, les dommages dus au charançon et la survie sont présentés au tableau 3. La hauteur moyenne à 22 ans (âge à partir de la graine) était de 8,3 m, et le diamètre moyen, de 10,5 cm. La hauteur dominante, c.-à-d. la hauteur moyenne des arbres les plus hauts (10 % des arbres), était de 10,3 m.

Les différences entre les groupes étaient significatives pour la hauteur et le rapport hauteur/diamètre au seuil de 1 %, mais, dans le cas du diamètre, elles n'étaient significatives qu'au seuil de 5 %. Aucune différence significative n'a été observée entre les groupes pour la survie ni entre les répétitions pour quelque variable que ce soit. L'interaction répétition x groupe n'était significative que pour l'accroissement en hauteur (au seuil de 5 %).

On a calculé les héritabilités individuelles et familiales pour la hauteur, le diamètre et le rapport hauteur/diamètre (tableau 4). Pour les

Tableau 3. Moyennes des groupes (erreurs types entre parenthèses)

Groupe	N	Hauteur (m)	Diamètre (cm)	Hauteur/ diamètre	N^bre de déformations	Degré de déformation	Survie (%)
I	325	7,90 (0,95)	10,3 (0,15)	7,94 (0,08)	2,08 (0,06)	2,33 (0,03)	80,1
II	138	8,65 (1,16)	10,4 (0,21)	8,65 (0,14)	2,03 (0,10)	2,12 (0,05)	92,0
III	204	8,85 (0,92)	10,8 (0,15)	8,39 (0,09)	1,63 (0,07)	2,07 (0,04)	85,0
IV	212	8,70 (0,84)	11,0 (0,14)	8,12 (0,09)	1,71 (0,08)	1,92 (0,04)	86,9
V	13	6,98 (5,81)	8,2 (0,86)	8,76 (0,38)	1,76 (0,32)	1,92 (0,17)	86,7
VI	24	7,79 (2,12)	11,1 (0,37)	7,13 (0,24)	2,29 (0,22)	2,37 (0,11)	80,0
VII	23	7,60 (3,22)	10,7 (0,47)	7,19 (0,22)	2,08 (0,28)	2,21 (0,15)	95,8
VIII	20	8,75 (2,27)	11,1 (0,50)	8,13 (0,28)	1,85 (0,28)	2,40 (0,13)	95,2
Total	959	8,38 (0,49)	10,6 (0,07)	8,16 (0,04)	1,89 (0,03)	2,15 (0,04)	84,9

Tableau 4. Héritabilité de la hauteur, du diamètre et du rapport hauteur/ diamètre

Paramètre	Type	h^2
Hauteur	individuelle	0,171
	familiale	0,365
Diamètre	individuelle	0,166
	familiale	0,457
Rapport h/d	individuelle	0,119
	familiale	0,613

trois variables, l'héritabilité individuelle était beaucoup plus faible que l'héritabilité familiale, ce qui souligne l'avantage du test de descendance pour la sélection des génotypes supérieurs.

Comme les données sur la sensibilité au charançon n'étaient pas continues ni normales, on ne pouvait effectuer une analyse de variance valable et, par conséquent, estimer l'héritabilité pour la vulnérabilité au charançon à partir des composantes de la variance de la façon usuelle. Toutefois, les données disponibles sur la vulnérabilité des parents a permis le calcul d'une régression parent-descendance. Dans le cas d'une régression des moyennes de la descendance sur les valeurs pour un seul parent, le coefficient de régression partielle (b') donne une estimation de la moitié de l'héritabilité au sens strict (Falconer, 1983). Les régressions parent-descendance pour le nombre de déformations et la gravité des déformations ont donné comme estimations de l'héritabilité des valeurs de 1,65 (0,11) et de 1,60 (0,10) respectivement (erreurs types entre parenthèses).

Les dommages causés par les gelées, tels qu'évalués en 1972, n'étaient pas corrélés de façon significative avec la hauteur, le diamètre, la fréquence des développements en fourche au-dessous de 60 cm et la gravité des déformations de la tige. Toutefois, une corrélation significative avec le nombre de déformations de la tige a été observée au seuil de 1 %, bien que cette corrélation soit faible (0,18).

Deux comparaisons deux à deux ont donné des résultats intéressants: une comparaison des croisements réciproques entre S100 et S109, et une comparaison des lots de graines obtenues par pollinisation libre de S98 et de R98 (ramets du clone dont l'ortet est S98). Comme on pouvait s'y attendre, les différences de hauteur entre les arbres issus des deux croisements étaient négligeables et non significatives (différence = 0,33 m; t = 1,7, 165 dl). Par contre, la différence dans le cas de la comparaison de S98 et de R98 était hautement significative (différence = 1,29 m; t = 6,42, 223 dl $P_{t=0} \leq 0,01$).

DISCUSSION

Les estimations obtenues de l'héritabilité de l'accroissement en hauteur sont comparables à celles qui ont été calculées pour d'autres espèces (Zobel et Talbert, 1984), ainsi que pour la même espèce dans d'autres études. Ekberg et al. (1985) ont estimé l'héritabilité familiale à 0,24-0,26 pour l'accroissement en hauteur à cinq ans d'épinettes de Norvège plantées à quatre emplacements en Suède, et Wellendorf (1983) a obtenu pour des épinettes de Norvège danoises âgées de 9 ans une estimation de 0,44. Comme les estimations de la présente expérience ont été obtenues pour une seule plantation, leur valeur sera augmentée par l'adjonction d'un terme pour l'interaction famille x emplacement (Dickerson, 1963).

Il est particulièrement important, dans le cas des espèces exotiques, que les facteurs source des graines et emplacement soient bien associés (Zobel et Talbert, 1984). Dans le cas des épinettes de Norvège plantées sous des climats continentaux au Canada, les gelées printanières tardives et une résistance insuffisante à l'hiver peuvent, séparément ou ensemble, causer de graves dommages. Holzer (1969) a constaté une relation étroite entre la

tolérance aux gelées chez l'épinette et le moment de la reprise du développement, lequel est soumis à une forte régulation génétique. Quelques-uns des arbres parents utilisés pour la présente expérience avaient fait l'objet d'une sélection massale pour la résistance à l'hiver. Toutefois, il n'y a pas nécessairement un rapport entre la vulnérabilité aux gelées printanières tardives et la tolérance au froid. Les gelées ont causé certains dommages dans les premières années, mais l'absence de corrélations significatives avec les variables de la croissance semble indiquer que la vulnérabilité aux gelées n'est pas associée à une faible croissance. De même, il n'a pas semblé y avoir un rapport entre les dommages causés à la pousse apicale par les gelées et la fréquence du développement en fourche des tiges. Selon Teich (1972), les stratégies d'aménagement restreignant les plantations aux emplacements les moins sujets aux gelées seraient préférables à la sélection pour la tolérance aux gelées. Certes, on peut s'attendre à ce que les arbres génétiquement supérieurs soient utilisés principalement aux meilleurs emplacements; nous pouvons donc penser, compte tenu également des résultats de l'expérience décrite, que la vulnérabilité aux gelées ne devrait pas représenter une source de préoccupation lorsque l'on plante des épinettes de Norvège, à condition que le matériel utilisé soit choisi avec soin.

Même si les estimations de l'héritabilité pour la vulnérabilité au charançon ne sont pas génétiquement possibles, ce qui reflète la faiblesse de l'approche de la régression parent-descendance, elles indiquent néanmoins une forte influence génétique de la tolérance au charançon chez l'épinette de Norvège. Le fait que les descendances des trois parents classés comme <<résistants>> ont été les plus faiblement touchées, en moyenne, par les déformations (nombre et gravité) indique bien l'influence génétique élevée de la tolérance au charançon. On ne connaît pas avec certitude le mécanisme responsable de cette tolérance au charançon chez le pin blanc (Pinus strobus L.) et l'épinette de Norvège, mais diverses études sur le pin ont indiqué certains facteurs qui pourraient influer: l'épaisseur de l'écorse (Kreibel, 1954), l'épaisseur de la pousse apicale (Sullivan, 1961) ainsi que la quantité et la composition chimique de la résine (Santamour, 1965). Une considération plus importante encore, peut-être, que la sensibilité au charançon est la capacité de rétablissement sans déformation majeure de la tige. Les résultats de la présente expérience indiquent, encore une fois, que la sélection axée sur le bon rétablissement de la tige devrait être très profitable sur le plan de la qualité du bois.

La vitesse de croissance des épinettes de Norvège étudiées se compare très favorablement à celle des épinettes blanches des plantations locales. Stiell et Berry (1967) ont établi des tables de production pour les plantations d'épinettes blanches à l'IFNP. La table de production pour la classe de fertilité supérieure (hauteur dominante de 50 pieds à 40 ans) indique une hauteur dominante de l'épinette blanche de 9,14 m à 20 ans et un volume total de 85,5 m^3/ha; les valeurs correspondantes sont de 10,31 m et de 107,5 m^3/ha pour la plantation étudiée d'épinettes de Norvège. L'accroissement à 22 ans est représentatif de la classe de fertilité 18 (accroissement annuel moyen maximal de 18 m^3/ha/année) pour les plantations d'épinettes de Norvège du Royaume-Uni (Hamilton et Christie, 1971). L'âge d'exploitabilité économique d'un peuplement d'épinettes de Norvège appartenant à la classe de fertilité 18 se situe entre 40 et 50 ans, sans éclaircies, et il faut compter environ 10 ans de plus pour un peuplement éclairci à des intensités déterminées (Forestry Commission, 1978). Par conséquent, les résultats du test de

descendance que nous avons présentés indiquent la performance de l'épinette de Norvège et l'héritabilité de divers caractères à presque la moitié de l'âge d'exploitabilité.

CONCLUSIONS

Même si l'interprétation des résultats a été rendue plus difficile à cause de l'imperfection du plan d'expérience en ce qui a trait au schéma d'accouplement et à la randomisation incomplète, on peut tirer d'importantes conclusions de l'expérience.

Premièrement, il ressort clairement que les épinettes de Norvège résistantes au froid peuvent être très productives dans l'est du Canada, offrant une performance supérieure à l'épinette blanche dans les plantations locales. Les perspectives d'amélioration génétique des caractères de croissance sont similaires à celles d'autres conifères, la sélection de familles reposant sur les résultats de tests de descendance représentant une approche beaucoup plus efficace que la sélection massale. En outre, il devrait être possible d'améliorer la forme de la tige et, par conséquent, la qualité du bois par la sélection pour la tolérance aux attaques par le charançon ou, du moins, pour un bon rétablissement à la suite des attaques. D'autre part, à condition qu'une certaine attention soit apportée au choix des emplacements et des sources de graines, le risque que les gelées printanières aient des effets négatifs sur la croissance et la forme de la tige n'est pas élevé. Pour l'amélioration de l'épinette de Norvège, on devrait donc concentrer les efforts sur la résistance à l'hiver, la croissance et la tolérance au charançon (ou le rétablissement à la suite des attaques).

RÉFÉRENCES

Corriveau, A.; Beaulieu, J.; Daoust, G. 1986. Activités de recherche du SCF en génétique et amélioration des arbres forestiers au Québec. Pages 87-92 in Proc. 20th Mtg. Can. For. Tree Improv. Assoc. Pt. I., Québec City, Québec, August 1985.

Dickerson, G.E. 1963. Biological interpretation of the genetic parameters of populations. Pages 95-107 in Statistical Genetics and Plant Breeding. Nat. Acad. Sciences - Nat. Res. Counc., Washington, D.C. Publication 982.

Dormling, I. 1982. Frost resistance during bud flushing and shoot elongation in Picea abies. Silvae Fenn. 16: 167-177.

Ekberg, I.; Eriksson, G.; Weng, Y. 1985. Between- and within-population variation in growth rhythm and plant height in four Picea abies populations. Stud. Forestalia Suec. No. 167.

Eriksson, G.; Ekberg, I.; Dormling, I.; Matern, B. 1978. Inheritance of bud-set and bud-flushing in Picea abies (L.) Karst. Theor. Appl. Genet. 52: 3-19.

Falconer, D.S. 1983. Introduction to Quantitative Genetics. Longman, London.

Fogal, W.H.; Morgenstern, E.K.; Viidik, P.; Yeatman, C.W. 1980. Variation in susceptibility of native and introduced coniferous trees to some insects of eastern Canada. Proc. Wkshp. on Genetics of Host-Parasite Interactions in Forestry, Wageningen, The Netherlands.

Forestry Commission. 1978. Optimum felling ages. Planning and Economics Paper 8. Unpubl.

Fowler, D.P.; Coles, J.F. 1979. Provenance trials of Norway spruce in the Maritimes. Can. For. Serv., Inf. Rep. M-X-101.

Hamilton, G.J.; Christie, J.M. 1971. Forest Management Tables (Metric). HMSO, London.

Holst, M.J. 1955. Notes on the Norway spruce - white pine weevil relationship in the Adirondacks. N.Y. State Ranger School Alumni News, Wanakena, N.Y.

Holzer, K. 1969. Cold resistance in spruce. Pages 597-613 in 2nd World Consultation on Forest Tree Breeding. FAO, Rome.

Jokela, E.J.; Briggs, R.D.; White, E.H. 1986. Volume equations and stand volumes for unthinned Norway spruce plantations in New York. Northern J. Appl. For. 3: 7-10.

Kriebel, H.B. 1954. Bark thickness as a factor in resistance to white pine weevil injury. J. For. 52: 842-845.

Lamontagne, Y. 1986. Récolte des cônes et amélioration génétique des arbres forestiers au Québec. Pages 85-86 in Proc. 20th Mtg. Can. For. Tree Improv. Assoc., Québec City, Québec, August 1985.

Mullin, T.J.; Frame, H.M. 1986. Cooperative tree improvement in Nova Scotia: 1983-85. Pages 53-55 in Proc. 20th Mtg. Can. For. Tree Improv. Assoc., Québec City, Québec, August 1985.

Park, Y.S.; Fowler, D.P.; Coles, J.F. 1981. Progeny tests of Norway spruce (Picea abies L. Karst) in the Maritimes. Can. For. Serv., Inf. Rep. M-X-130.

Rauter, R.M.; Stubber, S. 1986. Recent developments in Ontario's provincial tree improvement program. Pages 124-127 in Proc. 20th Mtg. Can. For. Tree Improv. Assoc., Québec City, Québec, August 1985.

Santamour, F.S. Jr. 1965. Insect-induced crystallization of white pine resins. I. White-pine weevil. USDA Forest Serv. Res. Note NE-38.

Simonovitch, D.; Rheaume, P.; Sachar, R. 1967. Seasonal increase in protoplasm and metabolic capacity in tree cells during adaptation to freezing. Pages 3-40 in Molecular mechanisms of temperature adaptation, Amer. Assoc. for Advan. Sci.

Squillace, A.E. 1974. Average genetic correlations among offspring from open-pollinated forest trees. Silv. Genet. 23: 149-156.

Stiell, W.M.; Berry, A.B. 1967. White spruce plantation growth at the Petawawa Forest Experiment Station. Can. For. Serv. Publ. 1200.

Sullivan, C.R. 1961. The effect of weather and the physical attributes of white pine leaders on the behaviour and survival of the white pine weevil, Pissodes strobi Peck, in mixed stands. Can. Entomol. 93: 721-741.

Teich, A.H. 1972. Some characteristics of selected and unselected populations of Norway spruce. For. Chron. 48: 198-200.

Wellendorf, H. 1983. Estimates of genetic parameters for 9-year height in unbalanced disconnected factorial crosses in Norway spruce Picea abies (L.) Karst. Forest Tree Improv. 16: 1-11.

Zobel, B.; Talbert, J. 1984. Applied Forest Tree Improvement. Wiley, New York.